

**LAPORAN HASIL PENELITIAN  
HIBAH BERSAING LANJUTAN TAHUN KE II (DUA)  
TAHUN ANGGARAN 2010**



**JUDUL PENELITIAN**

**PENINGKATAN PRODUKTIVITAS KEDELAI GENOTIPE BARU  
MELALUI TEKNOLOGI PUPUK HAYATI DAN  
PEMUPUKAN BERIMBANG DI TANAH ULTISOL**

**PENELITI**

**Dr. Ir. Rr. YUDHY HARINI BERTHAM, M.P  
Ir. ABIMAYU DIPO NUSANTARA, M.P**

**DIBIYAI OLEH DIPa UNIVERSITAS BENGKULU  
KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL  
SESUAI DENGAN SURAT PERJANJIAN PELAKSANAAN PENELITIAN  
NOMOR : 2235/H30.10.06.01/HK/2010, Tanggal 23 Maret 2010**

**FAKULTAS PETANIAN  
UNIVERSITAS BENGKULU  
TAHUN 2010**

## HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN AKHIR HIBAH BERSAING

1. Judul Penelitian : Peningkatan Produktivitas Kedelai Genotipe Baru Melalui Teknologi Pupuk Hayati dan Pemupukan Berimbang Di Tanah Ultisol
2. Ketua Peneliti
- a. Nama Lengkap : Dr. Ir. Rr. Yudhy Harini Bertham, M.P
  - b. Jenis Kelamin : Perempuan
  - c. NIP : 19580430 198603 2 003
  - d. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala (IV/b)
  - e. Jabatan Struktural : Sekretaris Jurusan Budidaya Pertanian
  - f. Bidang Keahlian : Biologi Tanah
  - g. Fakultas/Jurusan : Pertanian/Budidaya Pertanian
  - h. Perguruan Tinggi : Universitas Bengkulu
  - i. Anggota Peneliti :

No.	Nama dan Gelar	Bidang Keahlian	Jurusan/Fakultas
1.	Ir. Abimanyu D. Nusantara, M.P	Biologi Tanah	Budidaya Pertanian/Faperta

3. Pendanaan dan jangka waktu penelitian
- a. Jangka waktu penelitian yang diusulkan : 2 (dua) tahun
  - b. Biaya yang diusulkan : Rp. 96.975.000,-
  - c. Biaya yang disetujui : Rp. 92.000.000,-

Mengetahui,  
Dekan Fakultas Pertanian

Dr. Ir. Yuwana M.Sc  
NIP. 19591210 198603 1 003

Bengkulu, November 2010  
Ketua Peneliti,

Dr. Ir. Rr. Yudhy Harini Bertham, M.P  
NIP. 19580430 198603 2 003

Mengetahui,  
Ketua Lembaga Penelitian  
Universitas Bengkulu

Drs. Sarwit Sarwono M.Hum  
NIP. 19591112 198603 1 002

## HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN AKHIR HIBAH BERSAING

1. Judul Penelitian : Peningkatan Produktivitas Kedelai Genotipe Baru Melalui Teknologi Pupuk Hayati dan Pemupukan Berimbang Di Tanah Ultisol
2. Ketua Peneliti
- a. Nama Lengkap : Dr. Ir. Rr. Yudhy Harini Bertham, M.P
  - b. Jenis Kelamin : Perempuan
  - c. NIP : 19580430 198603 2 003
  - d. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala (IV/b)
  - e. Jabatan Struktural : Sekretaris Jurusan Budidaya Pertanian
  - f. Bidang Keahlian : Biologi Tanah
  - g. Fakultas/Jurusan : Pertanian/Budidaya Pertanian
  - h. Perguruan Tinggi : Universitas Bengkulu
  - i. Anggota Peneliti :

No.	Nama dan Gelar	Bidang Keahlian	Jurusan/Fakultas
1.	Ir. Abimanyu D. Nusantara, M.P	Biologi Tanah	Budidaya Pertanian/Faperta

3. Pendanaan dan jangka waktu penelitian
- a. Jangka waktu penelitian yang diusulkan : 2 (dua) tahun
  - b. Biaya yang diusulkan : Rp. 96.975.000,-
  - c. Biaya yang disetujui : Rp. 92.000.000,-

Mengetahui,  
Dekan Fakultas Pertanian

Dr. Ir. Yuwana M.Sc  
NIP. 19591210 198603 1 003

Bengkulu, November 2010  
Ketua Peneliti,

Dr. Ir. Rr. Yudhy Harini Bertham, M.P  
NIP. 19580430 198603 2 003

Mengetahui,  
Ketua Lembaga Penelitian  
Universitas Bengkulu

Drs. Sarwit Sarwono M.Hum  
NIP. 19591112 198603 1 002



## RINGKASAN

Produksi kedelai nasional dewasa ini mengalami penurunan tajam yang menyebabkan impor kedelai telah menjadi masalah nasional. Upaya peningkatan produksi kedelai harus terus diupayakan. Salah satu diantaranya dengan penyempurnaan teknik budidaya menggunakan pupuk hayati efektif spesifik lokasi mengingat harga pupuk buatan yang semakin mahal dan distribusinya sering bermasalah. Dari hasil penelitian yang dilakukan peneliti utama telah didapatkan strain *Rhizobium* yang efektif meningkatkan produktivitas kedelai galur baru 19BE di lapangan. Tujuan jangka panjang penelitian ialah mendapatkan teknologi hayati yang mampu meningkatkan produktivitas kedelai di tanah mineral masam. Tujuan khusus penelitian ini ialah mendapatkan dosis pupuk N dan P yang tepat untuk meningkatkan produktivitas kedelai galur baru 19BE yang diberi pupuk hayati rhizobia (strain Talang Empat atau TER dan strain Kandang Limun atau KLR) dan fungi pelarut fosfat (FPF). Percobaan menggunakan rancangan split plot dengan rancangan dasar acak kelompok lengkap yang diulang tiga kali. Petak utama ialah aplikasi pupuk pupuk hayati yaitu (i) tanpa pupuk hayati, (ii) FPF + TER, dan (iii) FPF + KLR. Sebagai anak petak ialah pemberian pupuk buatan yaitu (i) tanpa pupuk buatan, (ii) 23 kg N ha<sup>-1</sup> (50 kg Urea ha<sup>-1</sup>), (iii) 18 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (50 kg SP36), (iv) 23 kg N ha<sup>-1</sup> + 18 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, (v) 34.5 kg ha<sup>-1</sup> N (75 kg Urea ha<sup>-1</sup>) + 27 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (75 kg SP36 ha<sup>-1</sup>). Seluruh perlakuan mendapatkan tambahan 1 ton ha<sup>-1</sup> pupuk kandang dan 200 kg ha<sup>-1</sup> kapur pertanian. Kecuali perlakuan tanpa pupuk buatan, seluruh kombinasi perlakuan ditambah dengan 37.5 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> (75 kg KCl ha<sup>-1</sup>). Pupuk N diberikan dua kali yaitu separuh dosis pada saat tanam dan sisanya pada saat tanaman telah berbunga, sedangkan pupuk P dan K seluruhnya diberikan pada saat tanam. Setiap satuan percobaan atau petak berukuran 2.5 x 3 meter, setiap petak terdiri atas 12 baris tanaman dengan 10 tanaman tiap baris, sehingga setiap petak terdapat 120 tanaman atau jarak tanam 20 cm x 30 cm. Peubah yang diamati ialah bobot kering tanaman, jumlah dan bobot kering bintil, serapan hara N dan P, jumlah polong, jumlah dan bobot biji per tanaman. Hasil percobaan menunjukkan bahwa genotipe baru kedelai 19BE merespon positif aplikasi pupuk hayati (kombinasi fungi pelarut fosfat dan *Rhizobium*) dan pupuk buatan. Produktivitas genotipe 19BE dapat ditingkatkan sampai setara dengan 5.08 ton ha<sup>-1</sup> hanya dengan menggunakan pupuk buatan 50 kg SP36 ha<sup>-1</sup> tanpa diinokulasi dengan pupuk hayati. Alternatif lain ialah dengan pupuk hayati FPF + KLR tanpa pupuk buatan yang dapat menghasilkan produktivitas setara 4.12 ton ha<sup>-1</sup>.



## SUMMARY

National soybean production has a tendency to be decreasing while the demand is steadily increasing. This condition causes in increasing imported soybean to fulfill the escalating gap of soybean supplied and demanded. When soybean self-sufficiency to be accomplished, it is necessary to take measures. One of the measures that can be done is an improvement of farm production technology using localized effective bio-fertilizer since the price of chemical fertilizers is getting more expensive and shorter supplied. Based on the research results, the researcher have found that *Rhizobium* strain is the most effective in increasing production of 19BE new soybean line on the field. Long term objective of the research was to discover bio-technology that could enhance soybean productivity cultivated on acid soils. While the specific objective of the study was to obtain N and P fertilizer dosage for increasing productivity of 19BE soyben line which inoculated by phosphate solubilizing fungi and Rhizobium bacteria that would be recommended to Bengkulu Province. The study was conducted in split plot design with three replications. The main plot was biofertilizer application (without, PSF + TER, and PSF + KLR). Sub plot was five fertilizer treatment [without, 23 kg N ha<sup>-1</sup> (50 kg Urea ha<sup>-1</sup>), 18 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (50 kg SP36), 23 kg N ha<sup>-1</sup> + 18 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (50 kg Urea ha<sup>-1</sup> + 50 kg SP36), and 34.5 kg ha<sup>-1</sup> N (75 kg Urea ha<sup>-1</sup>) + 27 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (75 kg SP36 ha<sup>-1</sup>)]. All biofertilizer treatment only receive 75 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O. All treatment combination receive 1 ton ha<sup>-1</sup> of farmyard manure and 200 kg ha<sup>-1</sup> of lime. The results showed that all parameter affected by interaction of biofertilizer and fertilizer treatment. Soybean elite line of 19BE will produce 5.08 t ha<sup>-1</sup> when fertilized by 18 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> without any biofertilizer application. Another alternative is using PSF + KLR without any fertilizer application which will produce 4.12 ton ha<sup>-1</sup> of soybean seed.

## **PRAKATA**

Puji dan syukur hanya buat Allah atas segala rahmat dan karuniaNya sehingga laporan penelitian ini berhasil diselesaikan. Penelitian yang berjudul Peningkatan Produktivitas Kedelai Genotipe Baru Melalui Teknologi Pupuk Hayati dan Pemupukan Berimbang Di Tanah Ultisol dilaksanakan pada bulan Juni – Oktober 2010 di laboratorium dan lapangan, merupakan penelitian yang dibiayai oleh Program Hibah Bersaing DP4M Ditjen Dikti Depdiknas melalui Kontrak No. No. 2235/H30.10.06.01/HK/2010 tanggal 23 Maret 2010.

Selama pelaksanaan penelitian ini penulis telah banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih Direktur DP4M Ditjen Dikti Depdiknas yang telah menyetujui membiayai penelitian ini. Ucapan terima kasih juga patut disampaikan kepada staf Laboratorium Biologi Tanah Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu atas bantuan fasilitas dan kerjasama selama penelitian ini berlangsung. Penulis juga tak lupa menyampaikan ucapan terima kasih kepada Riezky P. Panjaitan (E1F007017) dan Nova Samosir (E1F007012), keduanya mahasiswa Program Studi Ilmu Tanah Jurusan Budidaya Pertanian, serta Ir. Agusman Yulianto (E2A009022) mahasiswa Program Pasca Sarjana Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan Fakultas Pertanian UNIB yang telah membantu melaksanakan penelitian ini.

Penulis menyadari sepenuhnya tidak semua hal yang tercantum dalam laporan ini dapat memuaskan sidang pembaca dan tentu masih ada kekurangannya. Semoga karya tulis ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan bagi semua pihak yang membutuhkannya.

Bengkulu, awal November 2010

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN .....	i
A. LAPORAN HASIL PENELITIAN	
RINGKASAN .....	ii
SUMMARY .....	iii
PRAKATA .....	iv
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR TABEL .....	vi
DAFTAR LAMPIRAN .....	vii
BAB I. PENDAHULUAN .....	1
BAB II. KAJIAN PUSTAKA .....	3
2.1 Kedelai dan Permasalahannya .....	3
2.2 Pupuk Hayati <i>Rhizobium</i> dan Fungi Pelarut Fosfat .....	4
BAB III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN .....	7
3.1 Tujuan Penelitian .....	7
3.2 Manfaat Penelitian .....	8
BAB IV. METODE PENELITIAN .....	9
4.1 Waktu dan Tempat .....	9
4.2 Bahan .....	9
4.3 Pelaksanaan Percobaan .....	9
4.4 Pengamatan .....	10
4.4 Rancangan Percobaan dan Analisis Data .....	10
BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN .....	13
5.1 Pertumbuhan Tanaman .....	13
5.2 Hasil Tanaman .....	20
5.3 Efektivitas Pupuk .....	23
BAB VI. SIMPULAN DAN SARAN .....	27
6.1 Simpulan .....	27
6.2 Saran .....	27
DAFTAR PUSTAKA .....	28
LAMPIRAN .....	32
B. DRAFT ARTIKEL ILMIAH	



## DAFTAR TABEL

1. Rangkuman sidik ragam pengaruh pupuk buatan dan pupuk hayati terhadap komponen pertumbuhan tanaman kedelai umur 4 MST .....	13
2. Interaksi pupuk buatan dan pupuk hayati terhadap jumlah bintil akar efektif (buah) tanaman kedelai umur 4 MST .....	14
3. Interaksi pupuk buatan dan pupuk hayati terhadap bobot kering (g) bintil akar efektif tanaman kedelai umur MST .....	15
4. Interaksi pupuk buatan dan pupuk hayati terhadap bobot kering (g) akar tanaman kedelai umur 4 MST .....	16
5. Interaksi pupuk buatan dan pupuk hayati terhadap bobot kering (g) pucuk tanaman kedelai umur 4 MST .....	17
6. Interaksi pupuk buatan dan pupuk hayati terhadap bobot kering (g) total tanaman kedelai umur 4 MST .....	18
7. Interaksi pupuk buatan dan pupuk hayati terhadap serapan hara N (mg) tanaman kedelai umur 4 MST .....	18
8. Interaksi pupuk buatan dan pupuk hayati terhadap serapan hara P (mg) tanaman kedelai umur 4 MST .....	19
9. Rangkuman sidik ragam pengaruh pupuk buatan dan pupuk hayati terhadap komponen hasil tanaman kedelai .....	20
10. Interaksi pupuk buatan dan pupuk hayati terhadap jumlah polong (buah) tanaman kedelai .....	20
11. Interaksi pupuk buatan dan pupuk hayati terhadap jumlah biji (buah) tanaman kedelai .....	21
12. Interaksi pupuk buatan dan pupuk hayati terhadap bobot kering biji (g) per tanaman kedelai .....	21
13. Efektivitas pupuk hayati dan pupuk buatan terhadap jumlah bintil akar, serapan N, dan bobot kering biji per tanaman kedelai .....	25

## DAFTAR LAMPIRAN

1. Karakteristik Fisikokimia Tanah Yang Digunakan Pada Percobaan .....	33
2. Personalia Tenaga Penelitian .....	34

## BAB I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara pengkonsumsi kedelai terbesar di dunia. Konsumsi kedelai nasional pada tahun 2000 saja mencapai 2,24 juta ton setiap tahunnya dan setiap tahun dipastikan terjadi kenaikan konsumsi kedelai. Sebaliknya, produktivitas kedelai nasional cukup rendah karena tidak beranjak dari angka 1,3 ton ha<sup>-1</sup> padahal produktivitas kedelai di negara-negara penghasil utama seperti Amerika Serikat dan Brazilia dewasa ini telah mencapai 2,7 ton ha<sup>-1</sup>. Untuk mencukupi kebutuhan kedelai nasional pemerintah harus mengimpor 1,2 juta ton kedelai per tahun yang menghabiskan devisa negara sebesar Rp. 3,58 triliun per tahun (Agrinews Online 2008).

Penurunan produksi kedelai disebabkan oleh berbagai faktor diantaranya berkurangnya luas area panen, produktivitas lahan yang masih rendah, gagalnya panen karena iklim yang tidak cocok untuk pertumbuhan. Penurunan luas panen menunjukkan turunnya minat petani untuk melakukan budidaya kedelai karena tidak menguntungkan secara ekonomis dan rendahnya insentif yang diberikan oleh pemerintah kepada petani kedelai. Di sisi lain sudah tersedia teknologi untuk diterapkan petani dalam mendukung peningkatan produksi kedelai, misalnya varietas kedelai yang unggul (biji besar, umur pendek, produktivitas tinggi) tidak kalah dengan kedelai impor.

Peningkatan produktivitas kedelai dapat tercapai jika tersedia benih kedelai yang unggul dan pupuk yang murah dan dalam jumlah yang mencukupi. Para peneliti telah berhasil merakit kedelai genotipe baru yang tahan kemasaman tinggi dan kadar P tanah rendah, potensi hasil > 2 ton ha<sup>-1</sup> dan stabilitas tinggi pada berbagai kondisi tanah dan lingkungan (Suryati *et al.* 1999; Suryati *et al.* 2006; Suryati & Chozin 2007). Satu genotipe, yaitu 19BE, terbukti memiliki respon yang konsisten terhadap pupuk hayati *Rhizobium* dan fungi pelarut fosfat (Nusantara *et al.* 2009). Genotipe tersebut juga memiliki mekanisme spesifik untuk beradaptasi dengan tanah mineral masam kahat P (Bertham *et al.* 2009). Lebih tingginya respon genotipe baru kedelai terhadap pupuk NPK, sekalipun secara statistik berbeda tidak nyata, dibandingkan dengan aplikasi pupuk hayati menunjukkan pupuk hayati belum bekerja optimal karena kurangnya pasokan hara. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa aplikasi pupuk hayati dapat ditingkatkan hasilnya jika diimbangi dengan pemberian pupuk dengan dosis yang tepat (Simanungkalit *et al.* 1996; Saraswati *et al.* 1999).



Produktivitas kedelai nasional yang masih rendah dan semakin tingginya jumlah kedelai yang harus diimpor merupakan masalah nasional yang harus segera diselesaikan. Peningkatan produksi kedelai nasional melalui program ekstensifikasi akan mengalami hambatan berupa tanah bermasalah. Penggunaan pupuk hayati merupakan salah satu alternatif yang dapat diupayakan mengingat harga pupuk buatan yang semakin mahal dan seringkali tidak tersedia di lapangan. Penggunaan pupuk buatan secara terus menerus telah terbukti tidak efektif meningkatkan produktivitas kedelai dalam banyak kasus penggunaan pupuk buatan justru merusak tanah. Agar pupuk hayati menghasilkan pengaruh yang optimal maka penggunaannya harus diimbangi dengan pemberian pupuk buatan dengan dosis yang tepat. Sejauh ini belum pernah diuji atau ditentukan dosis pupuk buatan yang tepat dalam kaitannya dengan aplikasi pupuk hayati untuk peningkatan produktivitas genotipe baru kedelai di tanah mineral masam khususnya di propinsi Bengkulu. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi salah satu informasi penting dalam pengambilan keputusan penggunaan paket teknologi peningkatan produktivitas kedelai di Propinsi Bengkulu.

## BAB II. KAJIAN PUSTAKA

### 2.1 Kedelai dan Permasalahannya

Kedelai merupakan salah satu tanaman anggota famili *Leguminosae*, subfamili *Papilionoideae*, tribus *Phaseoleae*, genus *Glycine* (Willd). dan subgenus *soja* (Moench). Kedelai merupakan tanaman pertanian penting yang ditanam di seluruh dunia karena merupakan sumber utama protein dan minyak untuk manusia dan hewan dan menyumbangkan nitrogen untuk meningkatkan kesuburan tanah. Kadar protein biji kering kedelai sekitar 41% (Gerriets 1993).

Konsumsi kedelai oleh bangsa Indonesia dipastikan setiap tahun terus meningkat dengan pertumbuhan sebesar 5% (Swastika 2005) mengingat peningkatan jumlah penduduk, pendapatan per kapita, dan kesadaran masyarakat akan gizi makanan. Mengingat produktivitas kedelai nasional tetap rendah maka impor kedelai telah dijadikan salah satu alternatif pemecahan masalah.

Indonesia pernah mencapai masa kejayaan produksi kedelai yaitu pada tahun 1992 namun setelah itu produksi dan luas arealnya terus menurun, hingga pada tahun 2008 hanya mencapai 761.206 ton dari 579.593 hektar luas panen dan produktivitas 1,3 ton ha<sup>-1</sup> yang berarti dalam tempo 16 tahun produksi dan luas panen kedelai masing-masing turun sebesar 59% dan 65% (BPS 2009). Padahal produktivitas kedelai di negara-negara penghasil utama seperti Amerika Serikat dan Brazilia dewasa ini telah mencapai 2,7 ton ha<sup>-1</sup> sekalipun dengan umur panen yang lebih lama. Provinsi Bengkulu tercatat sebagai daerah yang produktivitas kedelainya terendah di Indonesia (< 1 ton ha<sup>-1</sup>). Peningkatan produktivitas kedelai di provinsi tersebut menjadi penting artinya untuk mendukung keberhasilan skenario peningkatan produksi kedelai nasional.

Petani kedelai di Indonesia pada umumnya telah mengenal dan terbiasa menggunakan kedelai varietas unggul dibarengi dengan penggunaan pupuk buatan dosis tinggi (Swastika 2005). Para pemulia tanaman juga telah berhasil merakit berbagai genotipe baru kedelai dengan potensi hasil > 2 ton ha<sup>-1</sup> dan umur  $\pm$  80 hari (Suryati *et al.* 1999; Deptan 2008). Namun demikian potensi hasil tersebut tidak selalu berhasil didapatkan. Genotipe kedelai Ijen, Seulawah, Burangrang, dan Anjasmoro, yang dilaporkan cocok dikembangkan di lahan kering masam (Deptan 2008) ternyata produktivitasnya di Bengkulu tidak mencapai 2

ton ha<sup>-1</sup> sekalipun potensi genetiknya > 2 ton ha<sup>-1</sup>. Penggunaan pupuk dengan dosis yang dianjurkan untuk keempat genotipe tersebut juga tidak berhasil meningkatkan produktivitasnya. Hal tersebut menunjukkan adanya masalah yang dihadapi oleh genotipe kedelai yang dibudidayakan.

Tanaman kedelai pada umumnya menghendaki pasokan hara N, P, dan belerang dalam jumlah cukup. Unsur hara tersebut diperlukan untuk pertumbuhan dan pembentukan protein biji. Kebutuhan unsur-unsur tersebut dapat dipenuhi melalui pemberian pupuk buatan, pupuk organik, atau pupuk hayati. Pupuk hayati merupakan salah satu alternatif yang dapat dipilih mengingat pupuk ini relatif mudah didapatkan dengan biaya yang relatif murah, dan aman bagi lingkungan. Selain itu, pupuk hayati juga dapat secara bertahap dapat meningkatkan kesuburan tanah dan meningkatkan efisiensi pemupukan (Bertham 2006). Jasad renik tanah yang dapat digunakan sebagai pupuk hayati diantaranya ialah rizobia, fungi mikoriza arbuskula, ataupun jasad pelarut fosfat (FPF).

## 2.2 Pupuk Hayati *Rhizobium* dan Fungi Pelarut Fosfat

Propinsi Bengkulu kaya akan sumberdaya hayati, khususnya plasma nutfah pupuk hayati, namun demikian belum dieksplorasi maksimal untuk kepentingan pembangunan. Bertham (2006) telah berhasil mengisolasi 55 strain bakteri bintil akar dari rizosfir kedelai yang tumbuh di tanah Ultisol Bengkulu dari tiga lokasi yang berbeda, dari kelimpuluhlima strain tersebut teridentifikasi empat puluh strain *Bradyrhizobium* dan lima belas strain *Rhizobium*. Dari 40 strain *Bradyrhizobium* diperoleh dua strain yang efektif meningkatkan produktivitas kedelai var Ceneng, Pangrango dan Wilis di lahan agroforestri Kayu Bawang-Kedelai dan lahan monokultur Kedelai. Dari kelimpabelas strain *Rhizobium* berhasil diuji dua strain yang efektif meningkatkan produktivitas kedelai var Ceneng, Pangrango dan Wilis di lapangan (Bertham & Inorah 2006).

Fosfor merupakan unsur hara pembatas pertumbuhan yang kedua setelah N. Kadar hara fosfor di tanah-tanah tropika pada umumnya sangat rendah hanya beberapa mikro molar dibandingkan kadar hara lain yang mencapai ukuran milimolar (Ozanne 1980, Goldstein 1994). Sebagian besar fosfat anorganik terlarut yang diberikan ke dalam tanah mineral masam dalam bentuk pupuk segera diimobilisasi oleh senyawa-senyawa Al dan Fe dan menjadi tidak tersedia untuk tanaman (Sanyal & De Datta 1991; Yadav & Dadarwal



1997). Pupuk buatan memang terbukti berperan penting meningkatkan pertumbuhan tanaman namun demikian penggunaan yang tidak seimbang dengan unsur hara lain menyebabkan memburuknya kesuburan tanah dan degradasi lingkungan. Selain itu, pH rendah dan reaktivitas Al dan Fe yang tinggi menyebabkan rendahnya P yang dilepaskan oleh pupuk akan segera difiksasi oleh koloid Fe dan Al sehingga menurunkan ketersediaan P dan efisiensi pemupukan (Hao *et al.* 2002). Peran dan pemanfaatan jasad renik yang terlibat dalam proses penyediaan fosfor untuk tanaman menjadi sangat penting artinya.

Jasad renik penyedia fosfat, bakteri dan fungi, terbukti terlibat dalam beraneka proses yang mempengaruhi alihirupa fosfor dalam tanah dan dengan demikian menjadi bagian tak terpisahkan dari daur biogeokimia fosfor dalam tanah (Sharma & Johri 2002; Deubel & Merbach 2005). Mekanisme penyediaan fosfornya umumnya melalui pelarutan P dari tandon fosfat mineral (Richardson 1994; Narula *et al.* 2000), mineralisasi tandon P organik (Abd-Alla 1994; Bishop *et al.* 1994; Oliveira *et al.* 2009). Fosfor yang dibebaskan kemudian diimobilisasi menjadi biomassa jasad renik yang mudah tersedia ketika jasad renik tersebut mengalami kematian dan dengan demikian berpotensi tersedia untuk dimanfaatkan tanaman (Oberson *et al.* 2001).

Hasanudin (2002) melaporkan penggunaan mikroba pelarut fosfat (campuran bakteri dan fungi) pada skala percobaan rumah kaca dapat meningkatkan bobot 100 biji kedelai sebesar 28% dibandingkan dengan kontrol (pupuk buatan). Bertham (2002) melaporkan fungi pelarut fosfat *Aspergillus niger* pada skala percobaan rumah kaca masih mampu meningkatkan hasil kedelai galur UNIB2 yang ditanam setelah tanaman kacang tanah. Produktivitas kedelai yang dihasilkan oleh perlakuan *A. niger* sama dengan perlakuan 200 kg ha<sup>-1</sup> pupuk NPK (15-15-15), kelebihanannya ialah tanah yang diinokulasi *A. niger* memiliki pH yang lebih tinggi. Peran fungi pelarut fosfat menjadi semakin nyata jika digunakan dengan pupuk organik, misalnya vermikompos (Bertham 2002a) atau seresah tanaman kedelai (Mezuan *et al.* 2002).

Para peneliti telah berhasil merakit genotipe baru kedelai yang berdaya hasil tinggi dan adaptif terhadap kemasaman tinggi dan kadar P rendah (Suryati *et al.* 1999; Suryati *et al.* 2006; Suryati dan Chozin 2007). Genotipe baru yang dihasilkan memiliki adaptabilitas tinggi terhadap jenis tanah dan lingkungan dan tidak kalah dibandingkan dengan tetuanya (Malabar dan Kipas Putih) dan varietas kedelai yang telah lama digunakan masyarakat

yaitu Slamet dan Wilis. Tiga genotipe baru yaitu 25EC, 19BE, dan 13ED yang terbukti memiliki potensi hasil tinggi kemudian diuji kompatibilitasnya dengan *Rhizobium* dan fungi pelarut fosfat (Nusantara *et al.* 2009). Hasilnya menunjukkan genotipe 19BE dan 13ED memiliki respon yang konsisten positif terhadap pupuk buatan dan pupuk hayati. Lebih tingginya respon terhadap pupuk NPK, sekalipun berbeda tidak nyata, terhadap pupuk hayati menunjukkan pupuk hayati belum optimal bekerja karena pasokan hara yang belum mencukupi. Para peneliti telah melaporkan bahwa penggunaan pupuk hayati sebaiknya dibarengi dengan pupuk buatan dengan dosis yang tepat (Simanungkalit *et al.* 1996; Saraswati *et al.* 1999).

Tahun	Kegiatan	Keterangan
1997-2002	1. Penelitian dan identifikasi sumber daya hayati lokal untuk pengembangan pupuk hayati berbasis mikroorganisme pelarut fosfat dan fiksasi nitrogen.	1. Identifikasi sumber daya hayati lokal untuk pengembangan pupuk hayati berbasis mikroorganisme pelarut fosfat dan fiksasi nitrogen.
2003-2007	2. Penelitian dan identifikasi sumber daya hayati lokal untuk pengembangan pupuk hayati berbasis mikroorganisme pelarut fosfat dan fiksasi nitrogen.	2. Penelitian dan identifikasi sumber daya hayati lokal untuk pengembangan pupuk hayati berbasis mikroorganisme pelarut fosfat dan fiksasi nitrogen.
2010-2011	3. Penelitian dan identifikasi sumber daya hayati lokal untuk pengembangan pupuk hayati berbasis mikroorganisme pelarut fosfat dan fiksasi nitrogen.	3. Penelitian dan identifikasi sumber daya hayati lokal untuk pengembangan pupuk hayati berbasis mikroorganisme pelarut fosfat dan fiksasi nitrogen.

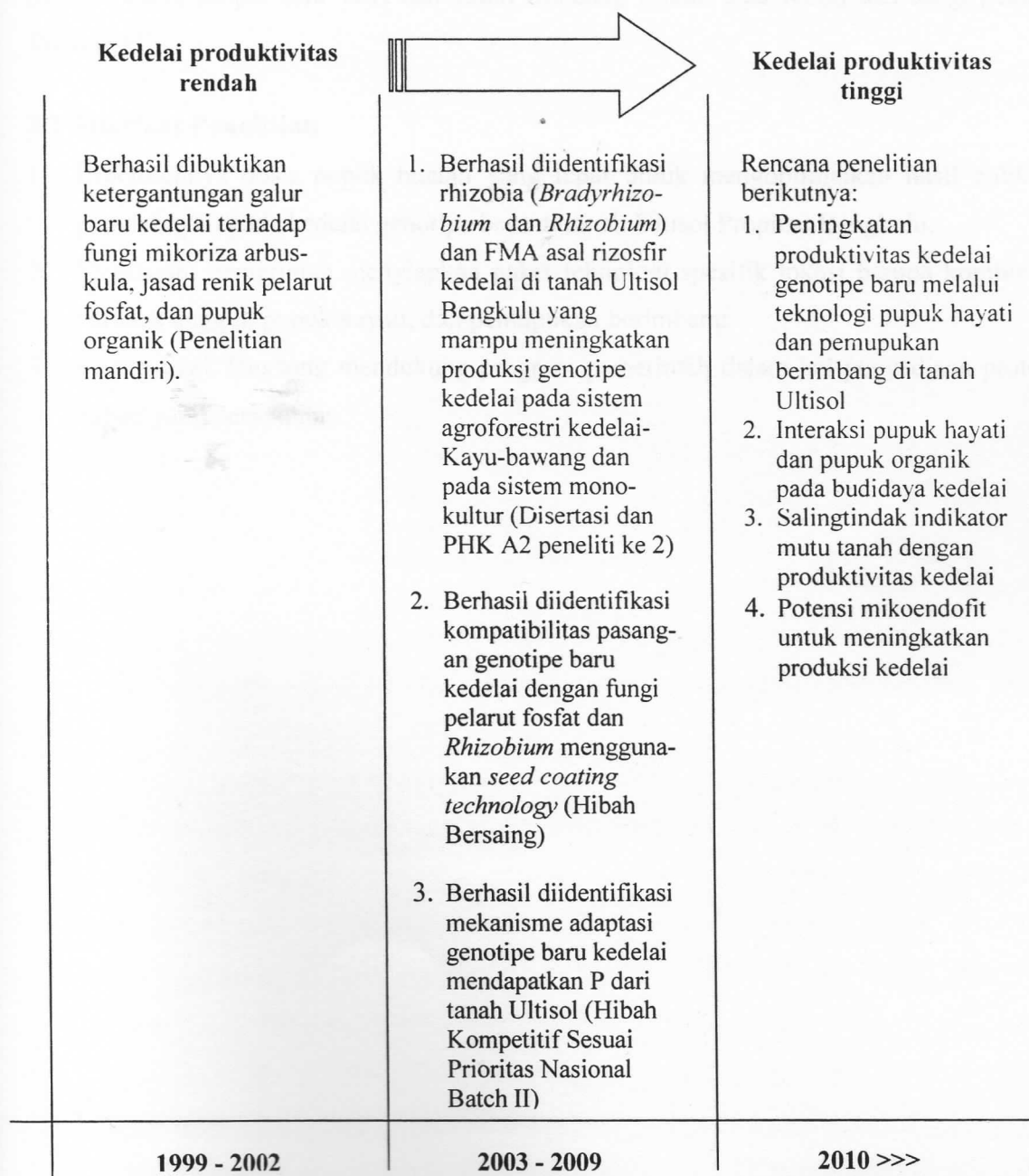
1997-2002 2003-2007 2010-2011

Waktu: 1. Kurang dari 5 tahun penelitian peningkatan produktivitas lokalitas melalui pemanfaatan sumberdaya hayati yang masih lingkungan

## BAB III TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

### 3.1 Tujuan Penelitian

Penelitian ini merupakan bagian tak terpisahkan dari *grand design* penyusunan strategi peningkatan produksi kedelai melalui pendekatan hayati yang murah dan ramah lingkungan (Bagan 1).



Bagan 1. *Road map* penelitian peningkatan produktivitas kedelai melalui pendekatan sumberdaya hayati yang ramah lingkungan



## BAB IV METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan umum atau memiliki tujuan jangka panjang mendapatkan paket teknologi hayati spesifik lokasi yang mampu meningkatkan produktivitas kedelai di tanah mineral masam. Tujuan khusus penelitian ialah mendapatkan dosis pupuk NPK yang tepat untuk meningkatkan produktivitas kedelai galur baru yang diberi pupuk hayati rhizobia (strain Talang Empat atau TER dan strain Kandang Limun atau KLR) dan fungi pelarut fosfat (FPF).

### 3.2 Manfaat Penelitian

1. Diperolehnya dosis pupuk buatan yang tepat untuk mengoptimalkan hasil aplikasi pupuk hayati pada kedelai genotipe baru di tanah Ultisol Propinsi Bengkulu.
2. Membantu pemerintah menyiapkan paket teknologi spesifik lokasi berupa kombinasi varietas unggul, pupuk hayati, dan pemupukan berimbang
3. Secara tidak langsung mendukung program pemerintah dalam hal penyediaan protein nabati yang berkualitas.

## BAB IV METODE PENELITIAN

### 4.1 Waktu dan tempat.

Percobaan penanaman kedelai di laksanakan di desa Medan Baru, Kodya Bengkulu, Propinsi Bengkulu. Pengukuran bobot kering dan perbanyakan fungi pelarut fosfat di Laboratorium Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu. Analisis tanah dan jaringan tanaman dilaksanakan di Balai Penelitian Tanah, Bogor.

### 4.2 Bahan

Kedelai genotipe baru 19BE merupakan kedelai hasil rakitan yang bersifat umum tahan P rendah dan kemasaman tinggi (Suryati *et al.* 1999). *Rhizobium* TER dan KLR merupakan hasil perbanyakan dari penelitian sebelumnya. Fungi pelarut fosfat diisolasi dari rizosfir tanaman kedelai dan diperbanyak menggunakan media Pikovskaya. Tanah di lokasi percobaan memiliki karakteristik tekstur lempung (*clay*), masam, berkesuburan tanah sedang sampai rendah dengan masalah utama ketersediaan hara P dan kation basa rendah dan kapasitas tukar kation rendah sekalipun kadar C organikya tinggi (Lampiran 1).

### 4.3 Pelaksanaan percobaan.

Contoh tanah rizosfir kedelai diambil dari beberapa sentra produksi kedelai di Propinsi Bengkulu. Contoh tanah segar diencerkan dengan air distilasi dengan seri pengenceran 10, yaitu 10 g contoh tanah disuspensikan dalam 90 mL air distilasi steril menggunakan tabung reaksi sehingga diperoleh seri pengenceran  $10^{-1}$ . Sepuluh mL suspensi tanah dari seri pengenceran dipindahkan ke tabung reaksi dan ditambah dengan 90 mL air distilasi steril sehingga diperoleh seri pengenceran  $10^{-2}$ . Hal sama dilakukan untuk mendapatkan seri pengenceran  $10^{-3}$ . Dari seri pengenceran terakhir diambil 0.2 mL suspensi dan dipindahkan ke dalam cawan petri berisi media taoge agar. Cawan petri beserta isinya di goyang sehingga homogen dan diinkubasi pada suhu ruang. Setelah 2-3 hari isolat fungi yang tumbuh dipisahkan untuk memperoleh isolat murni.

Untuk melihat kemampuan melarutkan fosfat, masing-masing jenis fungi tanah yang di koleksi ditumbuhkan pada cawan petri yang berisi media Pikosvkaya dan di inkubasikan pada suhu ruang. Fungi dikatakan mampu melarutkan fosfat apabila fungi dikelilingi

mintakat halo berwarna terang. Inokulan fungi pelarut fosfat dibuat dengan mencampur kultur murni fungi pelarut fosfat terpilih dedak padi sebagai pembawa.

Benih kedelai yang akan digunakan diaduk dengan gum arabicum 40% dan dicampur dengan inokulan *Rhizobium* yang didapatkan dari hasil penelitian sebelumnya dan menggunakan gambut sebagai pembawanya. Benih kedelai kemudian dikering anginkan sehingga diperoleh benih yang terbungkus dengan inokulan *Rhizobium*. Benih kedelai terbungkus inokulan tersebut kemudian ditanam di lapangan pada lubang tanam hasil penugalan, setiap lubang diberi dua biji kedelai dan 0.25 g inokulan FPF.

Seluruh perlakuan diberi 1 ton  $\text{ha}^{-1}$  pupuk kandang dan 200 kg  $\text{ha}^{-1}$  kapur pertanian. Kecuali perlakuan kontrol (tanpa pupuk buatan), seluruh perlakuan diberi 37.5 kg  $\text{K}_2\text{O}$  (75 kg KCl  $\text{ha}^{-1}$ ). Pupuk N diberikan dua kali yaitu separuh dosis pada saat tanam dan sisanya pada saat tanaman telah berbunga, pupuk P dan K seluruhnya diberikan pada saat tanam. Setiap satuan percobaan atau petak berukuran 2.5 x 3 meter, setiap petak terdiri dari 12 baris tanaman dengan 10 tanaman tiap baris atau jarak tanam 20 cm x 30 cm jadi untuk setiap hektar terdapat 160000 tanaman.

#### 4.4 Pengamatan.

Pengamatan dilakukan dua kali yaitu pada fase vegetatif dan fase generatif. Pada fase vegetatif diamati bobot kering tanaman (akar, pucuk, dan total), jumlah dan bobot kering bintil akar efektif, dan serapan hara N dan P. Bobot kering diukur berdasarkan bobot kering tanaman pasca pengeringan dalam oven pada suhu 80 °C sampai bobotnya konstan. Bintil akar efektif diamati berdasarkan kenampakan warna merah jambu pada bagian dalam bintil. Serapan hara diukur berdasarkan hasil kali bobot kering pucuk dengan kadar hara. Kadar hara N jaringan tanaman diukur dengan metoda Kjeldahl sedangkan hara P diukur dengan pewarnaan Kalium antimonil tartrat – asam askorbat (Eviati & Sulaiman 2009). Percobaan diakhiri ketika polong dan batang tanaman telah mengering dan dilakukan pengamatan terhadap jumlah polong berisi, jumlah dan bobot kering biji tiap tanaman.

#### 4.5 Rancangan percobaan dan analisis data.

Percobaan dilaksanakan menggunakan rancangan split plot dengan rancangan dasar acak kelompok lengkap. Sebagai petak utama ialah aplikasi pupuk pupuk hayati yaitu (i) tanpa pupuk hayati, (ii) FPF + TER, dan (iii) FPF + KLR. Sebagai anak petak ialah

pemberian pupuk buatan yaitu (i) tanpa pupuk buatan, (ii) 23 kg N ha<sup>-1</sup> (50 kg Urea ha<sup>-1</sup>), (iii) 18 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (50 kg SP36), (iv) 23 kg N ha<sup>-1</sup> + 18 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (50 kg Urea ha<sup>-1</sup> + 50 kg SP36), (v) 34.5 kg ha<sup>-1</sup> N (75 kg Urea ha<sup>-1</sup>) + 27 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (75 kg SP36 ha<sup>-1</sup>). Kelimabelas kombinasi perlakuan tersebut di ulang tiga kali. Hasil pengamatan dianalisis dengan model sidik ragam, beda antar perlakuan diuji dengan Uji Duncan, dan hubungan antar peubah dianalisis dengan model korelasi regresi.

Model sidik ragam yang digunakan ialah sebagai berikut :

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \delta_{ik} + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

yang :

- i = 1, 2, 3 (banyaknya perlakuan pupuk hayati)
- j = 1, 2, .....5 (banyaknya perlakuan pupuk buatan)
- k = 1, 2, 3 (banyaknya ulangan)
- Y<sub>ijk</sub> = hasil pengamatan peubah tanaman akibat perlakuan pupuk hayati ke i, pada perlakuan pupuk buatan ke j dan ulangan ke k
- μ = rata-rata umum
- α<sub>i</sub> = pengaruh petak utama (Pupuk Hayati)
- β<sub>j</sub> = pengaruh anak petak (Pupuk Buatan)
- (αβ)<sub>ij</sub> = pengaruh interaksi faktor Pupuk Hayati dan Pupuk Buatan
- δ<sub>ik</sub> = komponen acak dari petak utama yang menyebar normal (0, σ<sub>δ</sub><sup>2</sup>)
- ε<sub>ijk</sub> = pengaruh acak dari anak petak yang juga menyebar normal (0, σ<sup>2</sup>)

Jika terjadi interaksi antara pupuk hayati dan pupuk buatan maka galat baku yang digunakan dalam uji beda antar perlakuan mengacu pada rumusan Gomez dan Gomez (1984) sebagai berikut:

$$\sqrt{\frac{2 E_{\beta}}{k}} \quad \text{untuk perbandingan antara dua rerata anak petak pada petak utama yang sama (pada kasus petak tidak utama berpengaruh tidak nyata, anak petak berpengaruh nyata, dan ada interaksi antara petak utama dengan anak petak)}$$

$$\sqrt{\frac{2 [(J - 1)E_{\beta} + E_{\alpha}]}{jk}} \quad \text{untuk perbandingan antara dua rerata petak utama pada anak petak yang sama atau berbeda (pada kasus petak utama dan anak petak berpengaruh nyata dan interaksi keduanya berpengaruh nyata)}$$

yang j dan k masing-masing ialah banyaknya perlakuan pupuk buatan dan ulangan sedangkan E<sub>α</sub> ialah galat baku petak utama (pupuk hayati) dan E<sub>β</sub> ialah galat baku anak petak (pupuk buatan).

Adapun nilai derajat bebas (db) yang digunakan untuk mencari nilai  $t_{\text{tabel}}$  menggunakan rumusan sebagai berikut:

$$db = \frac{i(k-1)(i-1) [(j-1)E_{\beta} + E_{\alpha}]^2}{[(i-1)(j-1)(E_{\beta})^2 + i(E_{\alpha})^2]}$$

Uji normalitas dan transformasi data dilakukan dengan piranti lunak Minitab v15.1 sedangkan sidik ragam dan uji beda rerata dilakukan dengan piranti lunak CoStat v6.14.



## BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

### 5.1 Pertumbuhan Tanaman

Hasil percobaan menunjukkan pupuk hayati berpengaruh nyata ( $p < 0.05$ ) terhadap jumlah bintil akar efektif, dan nisbah pucuk akar (NPA), dan serapan hara N; dan berpengaruh sangat nyata ( $p < 0.01$ ) terhadap komponen pertumbuhan lainnya (Tabel 1). Pupuk buatan dan interaksi pupuk hayati dan pupuk buatan berpengaruh sangat nyata ( $p < 0.01$ ) terhadap semua komponen pertumbuhan yang diamati. Koefisien keragaman pada umumnya  $\leq 10\%$  yang menunjukkan data hasil percobaan tidak terlalu dipengaruhi oleh kondisi lingkungan percobaan. Transformasi Box-Cox telah berhasil menormalkan galat data hasil percobaan.

Tabel 1. Rangkuman sidik ragam pengaruh pupuk buatan dan pupuk hayati terhadap komponen pertumbuhan tanaman kedelai umur 4 MST

Peubah Tanaman	Pupuk Hayati	Pupuk Buatan	Interaksi	Koefisien Keragaman (%)	$\lambda$ Box-Cox
Jumlah Bintil	*	**	**	9	0.41
Bobot Bintil	**	**	**	9	0.57
Bobot Kering Akar	**	**	**	10	-
Bobot Kering Pucuk	**	**	**	8	-
Bobot Kering Total	**	**	**	8	-
Serapan hara N	*	**	**	5	0.38
Serapan hara P	**	*	**	5	0.31

Keterangan: \* =  $p < 0,05$ ; \*\* =  $p < 0,01$ ;  $\lambda$  Box-Cox = bilangan pangkat yang digunakan untuk transformasi data

Pupuk hayati FPF + KLR dan FPF + TER menghasilkan jumlah bintil akar efektif yang sama banyaknya namun nyata lebih banyak 57% dan 48% jika dibandingkan dengan kontrol (tanpa pemberian pupuk hayati) (Tabel 2). Penggunaan pupuk buatan dalam bentuk 50 kg Urea ha<sup>-1</sup> + 50 kg SP36 ha<sup>-1</sup> menghasilkan bintil akar efektif terbanyak (36 buah per tanaman) sekalipun berbeda tidak nyata dengan yang dihasilkan oleh 50 kg SP36 ha<sup>-1</sup> atau 75 kg Urea ha<sup>-1</sup> + 75 kg SP36 ha<sup>-1</sup>. Jasad renik indigenous, yaitu pada tanah yang tidak diberi pupuk hayati, lebih banyak membentuk bintil akar jika medium tumbuhnya diberi pupuk 50 kg SP36 ha<sup>-1</sup> (35 buah) dibandingkan jika diberi pupuk 50 kg Urea ha<sup>-1</sup> (21 buah).

Pemberian pupuk Urea yang digabungkan dengan pupuk SP36 justru menurunkan jumlah bintil akar. Pada kondisi alami, yaitu tanpa penambahan pupuk buatan, pupuk hayati FPF + TER mampu membentuk bintil akar sebanyak 17 buah atau 6x lebih tinggi dibandingkan dengan jasad renik indigenous sedangkan FPF + KLR lebih banyak lagi yaitu 35 buah atau 12x lebih tinggi dibandingkan dengan jasad renik indigenous. Jasad renik indigenous mampu menyamai pupuk hayati FPF + TER dan FPF + KLR jika ke dalam tanah ditambahkan pupuk buatan. Pupuk hayati FPF + TER berkinerja maksimal, yaitu menghasilkan bintil akar efektif sebanyak 52 buah atau 17x lebih tinggi dibandingkan dengan jasad renik indigenous, jika ke dalam medium tumbuhnya ditambahkan pupuk buatan 50 kg Urea ha<sup>-1</sup> + 50 kg SP36 ha<sup>-1</sup>. Peningkatan dosis sampai 75 kg Urea ha<sup>-1</sup> + 75 kg SP36 ha<sup>-1</sup> tidak meningkatkan jumlah bintil akar efektif. Sekalipun pupuk hayati FPF + KLR sejatinya memiliki kapasitas pembentukan bintil akar yang lebih tinggi, namun pupuk hayati ini tidak responsif terhadap pemberian pupuk buatan seperti halnya FPF + TER. Hal tersebut ditunjukkan dengan tidak terjadinya peningkatan nyata jumlah bintil akar akibat penambahan pupuk buatan pada medium tumbuh FPF + KLR.

Tabel 2. Interaksi pupuk buatan dan pupuk hayati terhadap jumlah bintil akar efektif (buah) tanaman kedelai umur 4 MST

Pupuk Buatan	Pupuk Hayati			Rerata Pupuk Buatan
	Tanpa	FPF + TER	FPF + KLR	
Tanpa	3 f	17 e	35 bc	18 r
50 kg Urea ha <sup>-1</sup>	21 de	27 cde	27 cde	25 q
50 kg SP36 ha <sup>-1</sup>	35 bc	24 cde	36 bc	32 p
50 kg Urea ha <sup>-1</sup> + 50 kg SP36 ha <sup>-1</sup>	31 bcd	52 a	25 cde	36 p
75 kg Urea ha <sup>-1</sup> + 75 kg SP36 ha <sup>-1</sup>	18 e	46 ab	33 bcd	32 p
Rerata Pupuk Hayati	21 y	33 x	31 x	

Rerata diikuti huruf sama menunjukkan berbeda tidak nyata dengan uji BNT pada taraf nyata 5%

Pupuk hayati FPF + TER yang bersimbiosis dengan tanaman kedelai menghasilkan bobot kering bintil akar efektif yang terendah (67.47 g) dan berbeda tidak nyata dengan yang dihasilkan oleh perlakuan tanpa pupuk hayati (72.60 g) sedangkan pupuk hayati FPF + KLR menghasilkan bobot kering bintil akar yang tertinggi (103.73 g) (Tabel 3). Penggunaan pupuk buatan pada umumnya meningkatkan bobot kering bintil akar efektif

jika dibandingkan dengan tanpa pupuk buatan. Pupuk buatan 50 kg Urea ha<sup>-1</sup> + 50 kg SP36 ha<sup>-1</sup> menghasilkan bobot kering bintil akar yang tinggi (106.67 g) yang berbeda nyata dengan yang dihasilkan oleh perlakuan pupuk buatan lainnya. Jasad renik indigenous pada percobaan ini, yaitu jasad renik dalam tanah yang tidak diberi pupuk buatan maupun pupuk hayati, menghasilkan bobot kering bintil akar efektif yang terendah. Pupuk hayati FPF + KLR menghasilkan bobot kering bintil akar 4x lebih tinggi dibandingkan dengan jasad renik indigenous. Pemberian pupuk 50 kg Urea ha<sup>-1</sup> tidak mengubah pengaruh jasad renik indigenous dan pupuk hayati FPF + KLR namun meningkatkan bobot kering bintil akar efektif hampir 2x lipat dibandingkan dengan tanpa pemupukan buatan sama sekali. Pemberian pupuk buatan 50 kg SP36 ha<sup>-1</sup> meningkatkan bobot kering bintil akar yang dihasilkan oleh jasad renik indigenous sampai 4x lebih tinggi akan tetapi menurunkan bobot kering bintil akar yang dibentuk oleh FPF + KLR. Pemberian pupuk buatan dalam bentuk 50 kg Urea ha<sup>-1</sup> + 50 kg SP36 ha<sup>-1</sup> meningkatkan bobot kering bintil akar yang dibentuk oleh jasad renik indigenous sampai mencapai maksimum atau tertinggi (160.33 g) dan tidak dapat disaingi oleh perlakuan lainnya. Penambahan pupuk buatan tersebut justru menurunkan bobot kering bintil akar yang dihasilkan oleh FPF + TER dan FPF + KLR. Jika dosis pupuk buatan ditingkatkan menjadi 75 kg Urea ha<sup>-1</sup> + 75 kg SP36 ha<sup>-1</sup> ternyata berpengaruh buruk terhadap jasad renik indigenous namun justru meningkatkan secara dramatis bobot kering bintil akar yang dihasilkan oleh FPF + TER.

Tabel 3. Interaksi pupuk buatan dan pupuk hayati terhadap bobot bintil akar efektif (g) per tanaman kedelai umur 4 MST

Pupuk Buatan	Pupuk Hayati			Rerata Pupuk Buatan
	Tanpa	FPF + TER	FPF + KLR	
Tanpa	25.67 d	37.33 d	116.33 b	59.78 r
50 kg Urea ha <sup>-1</sup>	31.67 d	60.67 c	105.67 b	66.00 r
50 kg SP36 ha <sup>-1</sup>	114.00 b	77.33 c	75.67 c	89.00 q
50 kg Urea ha <sup>-1</sup> + 50 kg SP36 ha <sup>-1</sup>	160.33 a	59.00 c	100.67 b	106.67 p
75 kg Urea ha <sup>-1</sup> + 75 kg SP36 ha <sup>-1</sup>	31.33 d	103.00 b	120.33 b	84.89 q
Rerata Pupuk Hayati	72.60 y	67.47 y	103.73 x	

Rerata diikuti huruf sama menunjukkan berbeda tidak nyata dengan uji BNT pada taraf nyata 5%

Tanaman kedelai galur 19BE pada percobaan ini lebih sedikit membentuk akar (2.08 g) jika medium tumbuhnya diberi pupuk hayati FPF + TER. Sebaliknya, jika tumbuh tanpa

adanya pupuk hayati justru membentuk akar yang lebih tinggi bobot kering akarnya (2.62 g) demikian juga jika medium tumbuhnya diberi pupuk hayati FPF + KLR akan membentuk akar dengan bobot kering yang lebih tinggi (2.56 g). Penggunaan pupuk buatan pada umumnya meningkatkan bobot kering akar tanaman kedelai pada percobaan ini. Pupuk buatan 50 kg SP36 ha<sup>-1</sup> menghasilkan rerata bobot kering akar tertinggi (2.74 g). Jasad renik indigenous pada kondisi alami (tanpa pupuk buatan) menghasilkan bobot kering akar yang rendah (2.06 g) namun pengaruhnya membaik jika ke dalam medium tumbuh diberikan pupuk buatan khususnya dalam bentuk 50 kg SP36 ha<sup>-1</sup> karena menghasilkan bobot kering akar yang tertinggi (3.38 g). Penambahan dosis dan penggabungan pupuk Urea dengan SP36 justru menurunkan bobot kering akar kedelai. Pengaruh pupuk hayati FPF + TER dan FPF + KLR terhadap bobot kering akar kedelai ternyata lebih rendah dibandingkan dengan jasad renik indigenous pada kondisi tanpa pemupukan. Pupuk hayati FPF + TER dan FPF + KLR jika dikombinasikan dengan 75 kg Urea ha<sup>-1</sup> + 75 kg SP36 ha<sup>-1</sup> baru akan menghasilkan bobot kering akar yang tinggi yaitu masing-masing 2.65 g dan 3.09 g.

Tabel 4. Interaksi pupuk buatan dan pupuk hayati terhadap bobot kering akar (g) tanaman kedelai umur 4 MST

Pupuk Buatan	Pupuk Hayati			Rerata Pupuk Buatan
	Tanpa	FPF + TER	FPF + KLR	
Tanpa	2.06 gh	1.66 i	1.79 hi	1.84 s
50 kg Urea ha <sup>-1</sup>	2.48 def	2.13 fgh	2.56 de	2.39 r
50 kg SP36 ha <sup>-1</sup>	3.38 a	1.87 hi	2.95 bc	2.74 p
50 kg Urea ha <sup>-1</sup> + 50 kg SP36 ha <sup>-1</sup>	2.86 bcd	2.09 gh	2.42 efg	2.46 qr
75 kg Urea ha <sup>-1</sup> + 75 kg SP36 ha <sup>-1</sup>	2.31 efg	2.65 cde	3.09 ab	2.68 pq
Rerata Pupuk Hayati	2.62 x	2.08 y	2.56 x	

Rerata diikuti huruf sama menunjukkan berbeda tidak nyata dengan uji BNT pada taraf nyata 5%

Pupuk hayati FPF + TER menghasilkan rerata bobot kering pucuk (13.82 g) yang nyata lebih rendah dibandingkan dengan jasad renik indigenous (16.30 g) dan pupuk hayati FPF + KLR (18.68 g) (Tabel 5). Pupuk 50 kg Urea ha<sup>-1</sup> menghasilkan rerata bobot kering pucuk yang lebih tinggi (17.64 g) dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Tanaman kedelai yang bersimbiosis dengan jasad renik indigenous menghasilkan bobot kering pucuk yang

tertinggi (23.23 g) jika medium tumbuhnya diberi pupuk buatan 50 kg SP36 ha<sup>-1</sup>. Tanaman kedelai yang bersimbiosis dengan FPF + TER menghasilkan bobot kering pucuk yang tinggi (19.54 g) jika medium tumbuhnya diberi pupuk 50 kg Urea ha<sup>-1</sup> sebaliknya yang bersimbiosis dengan FPF + KLR tidak memerlukan tambahan pupuk buatan untuk menghasilkan bobot kering pucuk yang tinggi. Pupuk hayati FPF + KLR pada kondisi alami tanpa pemupukan memiliki kapasitas yang lebih tinggi untuk menghasilkan bobot kering pucuk tanaman kedelai jika dibandingkan dengan jasad renik indigenous dan FPF + TER, namun demikian FPF + KLR relatif responsif terhadap pupuk buatan kombinasi Urea dan SP36 pada dosis yang tinggi.

Tabel 5. Interaksi pupuk buatan dan pupuk hayati terhadap bobot kering pucuk (g) tanaman kedelai umur 4 MST

Pupuk Buatan	Pupuk Hayati			Rerata Pupuk Buatan
	Tanpa	FPF + TER	FPF + KLR	
Tanpa	12.49 d	11.02 de	19.72 b	14.41 r
50 kg Urea ha <sup>-1</sup>	17.42 c	19.54 b	15.96 c	17.64 p
50 kg SP36 ha <sup>-1</sup>	23.23 a	10.23 e	16.60 c	16.69 pq
50 kg Urea ha <sup>-1</sup> + 50 kg SP36 ha <sup>-1</sup>	16.68 c	12.28 de	19.80 b	16.26 q
75 kg Urea ha <sup>-1</sup> + 75 kg SP36 ha <sup>-1</sup>	11.70 de	16.02 c	21.31 ab	16.34 q
Rerata Pupuk Hayati	16.30 y	13.82 z	18.68 x	

Rerata diikuti huruf sama menunjukkan berbeda tidak nyata dengan uji BNT pada taraf nyata 5%

Tanaman kedelai yang bersimbiosis dengan pupuk hayati FPF + TER menghasilkan rerata bobot kering total (15.90 g) yang nyata terendah dibandingkan dengan yang dihasilkan oleh jasad renik indigenous (18.92 g) dan FPF + KLR (21.24 g) (Tabel 6). Tanaman kedelai yang ditumbuhkan tanpa pupuk buatan menghasilkan bobot kering total tanaman yang terendah (16.25 g), pemberian pupuk buatan dalam bentuk Urea, SP36, atau gabungan keduanya dengan dosis 50 kg ha<sup>-1</sup> atau 75 kg ha<sup>-1</sup> menghasilkan bobot kering total yang kurang lebih sama. Jasad renik indigenous lebih responsif terhadap pupuk buatan 50 kg SP36 ha<sup>-1</sup> dibandingkan dengan pupuk buatan lainnya, dengan pupuk buatan ini maka akan dihasilkan bobot kering total tertinggi (26.61 g). Pupuk hayati FPF + TER hanya responsif terhadap pupuk 50 kg Urea ha<sup>-1</sup> untuk menghasilkan bobot kering total yang tinggi (21.67 g) sedangkan pupuk hayati FPF + KLR memerlukan pupuk buatan 75 kg Urea ha<sup>-1</sup> + 75 kg SP36 ha<sup>-1</sup> untuk menghasilkan bobot kering total yang tinggi (224.39 g).



Namun demikian pupuk hayati FPF + KLR pada kondisi tanpa pemupukan lebih besar pengaruhnya dalam meningkatkan bobot kering total dibandingkan dengan FPF + TER dan jasad renik indigenous.

Tabel 6. Interaksi pupuk buatan dan pupuk hayati terhadap bobot kering total tanaman kedelai umur 4 MST

Pupuk Buatan	Pupuk Hayati			Rerata Pupuk Buatan
	Tanpa	FPF + TER	FPF + KLR	
Tanpa	14.55 f	12.68 fg	21.51 cd	16.25 q
50 kg Urea ha <sup>-1</sup>	19.90 de	21.67 cd	18.52 e	20.03 p
50 kg SP36 ha <sup>-1</sup>	26.61 a	12.10 g	19.55 de	19.42 p
50 kg Urea ha <sup>-1</sup> + 50 kg SP36 ha <sup>-1</sup>	19.54 de	14.38 fg	22.22 bc	18.71 p
75 kg Urea ha <sup>-1</sup> + 75 kg SP36 ha <sup>-1</sup>	14.01 fg	18.67 e	24.39 ab	19.02 p
Rerata Pupuk Hayati	18.92 y	15.90 z	21.24 x	

Rerata diikuti huruf sama menunjukkan berbeda tidak nyata dengan uji BNT pada taraf nyata 5%

Tanaman kedelai yang bersimbiosis dengan pupuk hayati FPF + KLR menyerap lebih banyak N (594.90 mg) dibandingkan dengan yang bersimbiosis dengan FPF + TER (Tabel 7). Jasad renik indigenous memiliki kemampuan yang sama baiknya dengan FPF + KLR untuk meningkatkan serapan N oleh tanaman kedelai.

Tabel 7. Interaksi pupuk buatan dan pupuk hayati terhadap serapan hara N (mg) tanaman kedelai umur 4 MST

Pupuk Buatan	Pupuk Hayati			Rerata Pupuk Buatan
	Tanpa	FPF + TER	FPF + KLR	
Tanpa	374.93 de	331.48 e	593.38 ab	433.26 q
50 kg Urea ha <sup>-1</sup>	568.00 ab	585.95 ab	487.27 bcd	547.07 p
50 kg SP36 ha <sup>-1</sup>	716.79 a	323.27 e	521.92 bc	520.66 p
50 kg Urea ha <sup>-1</sup> + 50 kg SP36 ha <sup>-1</sup>	493.67 bcd	378.42 cde	624.44 ab	498.84 p
75 kg Urea ha <sup>-1</sup> + 75 kg SP36 ha <sup>-1</sup>	397.15 cde	508.45 bcd	747.50 a	551.03 p
Rerata Pupuk Hayati	510.11 xy	425.51 y	594.90 x	

Rerata diikuti huruf sama menunjukkan berbeda tidak nyata dengan uji BNT pada taraf nyata 5%

Pemberian pupuk buatan pada umumnya menghasilkan rerata serapan N yang lebih tinggi dibandingkan tanpa pupuk buatan dan semakin banyak jenis pupuk yang ditambahkan dengan dosis yang semakin tinggi maka semakin tinggi pula serapan N. Jasad

renik indigenous menghasilkan serapan N yang tinggi (716.79 mg) jika ke dalam medium tumbuh diberi pupuk 50 kg SP36 ha<sup>-1</sup>. Pupuk hayati FPF + TER menghasilkan serapan N yang tinggi (585.95 mg) jika ke dalam medium tumbuh diberikan pupuk buatan 50 kg Urea ha<sup>-1</sup>. Pupuk hayati FPF + KLR sudah mampu menghasilkan serapan N yang tinggi (593.38 mg) sekalipun tidak diberi pupuk buatan, pupuk buatan harus ditambahkan dalam bentuk kombinasi 75 kg Urea ha<sup>-1</sup> + 75 kg SP36 ha<sup>-1</sup> agar menghasilkan serapan N yang tertinggi (747.50 mg).

Tanaman kedelai yang bersimbiosis dengan pupuk hayati FPF + KLR memiliki rerata serapan P (60.45 mg) yang nyata lebih tinggi dibandingkan yang bersimbiosis dengan FPF + TER (47.25 mg) maupun jasad renik indigenous (52.50 mg) (Tabel 8). Pemberian pupuk buatan pada umumnya menghasilkan rerata serapan P yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa pemupukan (43.88 g). Jasad renik indigenous menghasilkan serapan P yang tertinggi (72.69 mg) jika ke dalam medium tumbuhnya diberikan pupuk buatan 50 kg SP36 ha<sup>-1</sup>. Pupuk hayati FPF + TER menghasilkan serapan P yang tinggi (48.74 mg) jika medium tumbuhnya diberi pupuk buatan 50 kg Urea ha<sup>-1</sup>, pemberian pupuk SP36 (tunggal maupun kombinasinya dengan Urea) justru menghasilkan serapan P yang lebih rendah. Pupuk hayati FPF + KLR pada dasarnya tidak memerlukan pupuk buatan untuk menghasilkan serapan P yang tinggi. Serapan P yang tertinggi oleh FPF ++ KLR dihasilkan jika dilakukan penambahan pupuk buatan 75 kg Urea ha<sup>-1</sup> + 75 kg SP36 ha<sup>-1</sup>, namun demikian serapan P tersebut berbeda tidak nyata dengan yang dihasilkan oleh tanpa pemberian pupuk buatan.

Tabel 8. Interaksi pupuk buatan dan pupuk hayati terhadap serapan hara P (mg) tanaman kedelai umur 4 MST

Pupuk Buatan	Pupuk Hayati			Rerata Pupuk Buatan
	Tanpa	FPF + TER	FPF + KLR	
Tanpa	35.07 e	34.01 ef	62.56 abc	43.88 r
50 kg Urea ha <sup>-1</sup>	62.59 abc	48.74 cd	53.82 bcd	55.05 p
50 kg SP36 ha <sup>-1</sup>	72.69 a	25.37 f	49.79 bcd	49.28 qr
50 kg Urea ha <sup>-1</sup> + 50 kg SP36 ha <sup>-1</sup>	50.66 bcd	36.70 e	63.94 ab	50.44 pqr
75 kg Urea ha <sup>-1</sup> + 75 kg SP36 ha <sup>-1</sup>	41.47 de	41.42 de	72.14 a	51.68 pq
Rerata Pupuk Hayati	52.50 y	37.25 z	60.45 x	

Rerata diikuti huruf sama menunjukkan berbeda tidak nyata dengan uji BNT pada taraf nyata 5%

## 5.2 Hasil Tanaman

Pupuk hayati hanya berpengaruh nyata ( $p < 0,05$ ) terhadap jumlah biji per tanaman sedangkan pupuk buatan buatan dan interaksi pupuk hayati dan pupuk buatan berpengaruh sangat nyata ( $p < 0,01$ ) terhadap jumlah polong dan biji per tanaman serta bobot biji per tanaman (Tabel 9). Koefisien keragaman berkisar 4 – 10% yang menunjukkan keandalan data hasil pengamatan di lapangan.

Tabel 9. Rangkuman sidik ragam pengaruh pupuk buatan dan pupuk hayati terhadap komponen hasil tanaman kedelai

Peubah Tanaman	Pupuk Hayati	Pupuk Buatan	Interaksi	Koefisien Keragaman (%)	$\lambda$ Box-Cox
Jumlah polong per tanaman	tn	**	**	4	0.49
Jumlah biji per tanaman	*	**	**	6	0.63
Bobot biji per tanaman	tn	**	**	10	-

Keterangan: \*\* =  $p < 0,01$ ;  $\lambda$  Box-Cox = bilangan pangkat yang digunakan untuk transformasi data

Pupuk buatan harus diberikan dalam bentuk 50 kg Urea  $\text{ha}^{-1}$  + 50 kg SP36  $\text{ha}^{-1}$  agar menghasilkan jumlah polong berisi per tanaman yang tertinggi (104 buah) yang berbeda nyata dengan yang dihasilkan oleh perlakuan lainnya (Tabel 10). Jasad renik indigenous menghasilkan jumlah polong berisi yang nyata tertinggi (123 buah) jika ke dalam medium tumbuh ditambahkan 50 kg SP36  $\text{ha}^{-1}$ , jumlah tersebut sekitar 2x lipat yang dihasilkan oleh tanpa pemupukan.

Tabel 10. Interaksi pupuk buatan dan pupuk hayati terhadap jumlah polong (buah) tanaman kedelai

Pupuk Buatan	Pupuk Hayati			Rerata Pupuk Buatan
	Tanpa	FPF + TER	FPF + KLR	
Tanpa	65 d	101 ab	111 a	92 b
50 kg Urea $\text{ha}^{-1}$	100 b	68 c	73 d	80 c
50 kg SP36 $\text{ha}^{-1}$	123 a	67 c	84 c	91 b
50 kg Urea $\text{ha}^{-1}$ + 50 kg SP36 $\text{ha}^{-1}$	99 b	111 a	103 ab	104 a
75 kg Urea $\text{ha}^{-1}$ + 75 kg SP36 $\text{ha}^{-1}$	80 c	96 b	93 bc	90 b

Rerata sekolom diikuti huruf sama menunjukkan berbeda tidak nyata dengan uji BNT pada taraf nyata 5%

Pemberian pupuk buatan dalam bentuk Urea ataupun kombinasinya dengan SP36 justru menurunkan jumlah polong berisi. Pupuk hayati FPF + TER baru menghasilkan jumlah polong berisi yang tinggi (111 buah) jika diberi pupuk buatan 50 kg Urea ha<sup>-1</sup> + 50 kg SP36 ha<sup>-1</sup> namun demikian jumlah tersebut berbeda tidak nyata dengan yang dihasilkan oleh perlakuan tanpa pemupukan. Kondisi tersebut juga dialami oleh pupuk hayati FPF + TER yang justru menghasilkan jumlah polong berisi yang tinggi (111 buah) jika tidak diberi pupuk buatan sama sekali.

Jasad renik indigenous menghasilkan jumlah biji kedelai per tanaman (165 buah) yang sama banyaknya dengan yang dihasilkan oleh pupuk hayati FPF + KLR (161 buah) (Tabel 11). Pupuk buatan 50 kg Urea ha<sup>-1</sup> + 50 kg SP36 ha<sup>-1</sup> menghasilkan rerata jumlah biji yang nyata lebih tinggi (177 buah) dibandingkan dengan yang dihasilkan oleh perlakuan tanpa pemupukan (154 buah). Jasad renik indigenous akan menghasilkan jumlah biji terbanyak (207 buah) jika ke dalam medium tumbuhnya diberi pupuk buatan 50 kg SP36 ha<sup>-1</sup>. Pengaruh pupuk hayati FPF + TER dan FPF + KLR terhadap jumlah biji per tanaman tampaknya menjadi menurun atau tidak berubah jika medium tumbuhnya diberi pupuk buatan.

Tabel 11. Interaksi pupuk buatan dan pupuk hayati terhadap jumlah biji (buah) per tanaman kedelai

Pupuk Buatan	Pupuk Hayati			Rerata Pupuk Buatan
	Tanpa	FPF + TER	FPF + KLR	
Tanpa	116 hi	180 bcd	165 bcde	154 qr
50 kg Urea ha <sup>-1</sup>	186 ab	96 i	142 efg	141 r
50 kg SP36 ha <sup>-1</sup>	207 a	124 gh	160 cde	164 pq
50 kg Urea ha <sup>-1</sup> + 50 kg SP36 ha <sup>-1</sup>	179 bcd	170 bcd	184 abc	177 p
75 kg Urea ha <sup>-1</sup> + 75 kg SP36 ha <sup>-1</sup>	135 fgh	185 abc	156 def	158 q
Rerata Pupuk Hayati	165 x	151 y	161 x	

Rerata diikuti huruf sama menunjukkan berbeda tidak nyata dengan uji BNT pada taraf nyata 5%

Agar menghasilkan rerata bobot biji per tanaman yang tinggi (27.45 g) maka tanaman kedelai galur 19BE harus diberi pupuk buatan 50 kg Urea ha<sup>-1</sup> + 50 kg SP36 ha<sup>-1</sup>, peningkatan dosis justru menurunkan bobot biji per tanaman (Tabel 12). Jasad renik indigenous menghasilkan bobot biji per tanaman yang tertinggi (31.75 g) jika medium tumbuhnya diberi pupuk buatan 50 kg SP36 ha<sup>-1</sup> dan penggabungan Urea dengan SP36

justru menurunkan bobot biji per tanaman. Pupuk hayati FPF + TER dan FPF + KLR sejatinya tanpa pemupukan sudah mampu menghasilkan bobot biji per tanaman yang tinggi yaitu masing-masing 25.95 dan 25.75 g. Bobot tersebut sekitar 1.5 kali lipat dari yang dihasilkan oleh jasad renik indigenous.

Tabel 12. Interaksi pupuk buatan dan pupuk hayati terhadap bobot biji (g) per tanaman kedelai

Pupuk Buatan	Pupuk Hayati			Rerata Pupuk Buatan
	Tanpa	FPF + TER	FPF + KLR	
Tanpa	17.79 c	25.95 a	25.75 a	23.16 b
50 kg Urea ha <sup>-1</sup>	24.14 b	15.26 c	25.52 a	21.64 c
50 kg SP36 ha <sup>-1</sup>	31.75 a	18.76 b	19.04 b	23.18 bc
50 kg Urea ha <sup>-1</sup> + 50 kg SP36 ha <sup>-1</sup>	28.22 ab	26.47 a	27.66 a	27.45 a
75 kg Urea ha <sup>-1</sup> + 75 kg SP36 ha <sup>-1</sup>	18.92 c	27.05 a	24.83 a	23.60 b

Rerata sekolom diikuti huruf sama menunjukkan berbeda tidak nyata dengan uji BNT pada taraf nyata 5%

Jumlah total unsur P dalam tanah, baik dalam bentuk organik dan anorganik, seringkali berlimpah namun unsur ini seringkali bermasalah dan menjadi pembatas utama pertumbuhan tanaman (Khan *et al.* 2007). Sifat pupuk P yang mudah larut menjadikan unsur P segera difiksasi oleh anasir penyusun tanah menjadi bentuk yang tidak tersedia untuk tanaman (Narsian & Patel 2000). Untuk melarutkan bentuk P tidak mudah larut demikian maka tanaman harus mengalokasikan sebagian fotosintatnya untuk dieksudasikan dalam bentuk senyawa organik. Eksudat tersebut berperan sebagai substrat untuk konsorsium jasad renik yang berperan dalam melarutkan berbagai bentuk P dalam tanah. Jasad pelarut fosfat dengan demikian menjadi faktor penentu dalam pemasokan P ke tanaman melalui mekanisme yang lebih bersahabat dan ramah lingkungan (Khan *et al.* 2007).

Jasad renik pelarut fosfat merujuk kepada sekelompok jasad renik tanah yang terlibat dalam daur biogeokimia unsur P dan mampu mengubah bentuk P tak tersedia menjadi tersedia melalui berbagai mekanisme (Richardson 2001). Jasad pelarut fosfat umumnya terbagi menjadi bakteri dan fungi. Bakteri pelarut fosfat (BPF) *Bacillus* dan *Pseudomonas* merupakan jasad renik yang berperan meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman (Illmer & Schinner 1992). Beberapa strain *Rhizobium* juga dilaporkan mampu melarutkan P organik dan anorganik (Daimon *et al.* 2006). Namun demikian kemampuan melarutkan P



tersebut beragam bergantung kepada strain rhizobia dan kondisi medium yang digunakan (Sridevi & Mallaiah 2009) yang menunjukkan bahwa rhizobia memiliki keuntungan ganda yaitu memasok N dan P pada tanaman inangnya (Peix *et al.* 2001).

Fungi pelarut fosfat (FPF) pada umumnya tergolong genus *Aspergillus* dan *Penicillium*, mampu melarutkan P pada kondisi in vitro (Seshadri *et al.* 2004; Wakelin *et al.* 2004). Genus *Aspergillus* dilaporkan mampu membebaskan P dari sumber P organik yaitu fitat (Yadav & Tarafdar 2003) dan lecitin (Oliveira *et al.* 2009), namun juga mampu membebaskan P dari ikatan P-Al (Oliveira *et al.* 2009), yang seterusnya dimanfaatkan untuk pertumbuhan dan hasil tanaman (Richardson *et al.* 2005). Kemampuan melarutkan P pada umumnya dikaitkan dengan pelepasan asam-asam organik yang mampu menurunkan pH media (Seshadri *et al.* 2004) dan produksi enzim fitase (Mitchell *et al.* 1997) dan enzim fosfatase (Oliveira *et al.* 2009). Asam organik bertugas mengkhelasi Ca, Al dan Fe, mengubah pH media, dan melarutkan garam-garam terlarut sehingga terjadi peningkatan kadar P dalam media (Gadd 1999). Selain pelarutan P, berbagai jenis jasad pelarut P dilaporkan dapat meningkatkan produksi metabolit spesifik misalnya vitamin, asam amino dan hormon sehingga meningkatkan kolonisasi akar oleh fungi mikoriza (Khan *et al.* 2007). Sekalipun menurunkan pH tanah, inokulasi fungi pelarut fosfat dilaporkan dapat meningkatkan sifat-sifat tanah misalnya meningkatkan stabilitas agregat, kadar bahan organik, aktivitas enzim dan sebagainya (Caravaca *et al.* 2004). Inokulasi jasad pelarut P merupakan tehnik yang menjanjikan karena dapat meningkatkan ketersediaan P dari dalam tanah sehingga mengurangi kebutuhan akan pupuk P buatan (Reyes *et al.* 2002). Para peneliti telah melaporkan keberhasilan inokulasi fungi pelarut P untuk meningkatkan produksi tanaman bawang merah (Vassilev *et al.* 1997) dan kedelai (Abd-Alla *et al.* 2001).

### 5.3 Efektivitas Pupuk

Tujuan akhir budidaya modern kedelai ialah mendapatkan bobot biji yang setinggi-tingginya dengan masukan yang serendah mungkin dan seaman mungkin bagi manusia dan lingkungan hidup. Agak sulit menarik kesimpulan dari data yang tercantum pada Tabel 2 s/d 12 di atas mengingat tidak konsistennya pengaruh yang dihasilkan oleh pupuk hayati dan pupuk buatan serta interaksi keduanya. Pengaruh setiap perlakuan juga dapat dievaluasi berdasarkan efektivitas perlakuan yaitu proporsi peningkatan atau penurunan yang

dihasilkan dari setiap perlakuan terhadap perlakuan kontrol (tanpa pupuk hayati dan tanpa pupuk buatan). Namun demikian, tidak semua peubah tanaman digunakan untuk mengevaluasi efektivitas tersebut mengingat ada peubah tanaman tertentu dapat berkorelasi dengan peubah tanaman lainnya. Sebagai contoh jumlah bintil akar efektif berkorelasi positif ( $r = 0.51^*$ ) dengan bobot kering bintil akar efektif. Oleh sebab itu cukup jumlah bintil akar efektif yang dievaluasi. Bobot kering pucuk tidak perlu diikutkan dalam evaluasi efektivitas karena sudah digunakan dalam penghitungan serapan hara (N dan P). Bobot kering akar tidak perlu diikutkan dalam dievaluasi karena berkorelasi positif dengan serapan N ( $r = 0.67^{**}$ ) dan serapan P ( $r = 0.64^{**}$ ) namun demikian ternyata serapan N tidak berkorelasi dengan peubah tanaman lainnya. Bobot biji merupakan peubah tanaman terpenting dalam mencapai tujuan akhir budidaya kedelai. Bobot biji per tanaman berkorelasi positif dengan jumlah polong ( $r = 0.85^{**}$ ) dan jumlah biji pertanaman ( $r = 0.89^{**}$ ) dan tidak berkorelasi dengan jumlah bintil akar maupun serapan N. Oleh sebab itu jumlah polong dan jumlah biji pertanaman tidak perlu diikutkan dalam evaluasi efektivitas.

Pupuk hayati dan pupuk buatan, secara mandiri atau bersama-sama, mampu meningkatkan jumlah bintil, serapan N, dan bobot biji pertanaman (Tabel 13). Peubah yang paling dipengaruhi ialah jumlah bintil akar efektif diikuti dengan serapan N. Penggunaan pupuk buatan tanpa pupuk hayati menghasilkan rerata efektivitas sebesar 881% yang berarti meningkatkan jumlah bintil 8x lipat lebih banyak dibandingkan dengan yang dihasilkan oleh kondisi alami (tanpa pupuk hayati dan tanpa pupuk buatan). Penggunaan pupuk hayati bersama-sama dengan pupuk buatan menghasilkan efektivitas sebesar 1291% dan 1031% yang berarti meningkatkan jumlah bintil akar efektif 13x dan 10x lipat lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi alami. Penggunaan pupuk hayati FPF + TER dan FPF + KLR dengan demikian mampu meningkatkan jumlah bintil akar efektif 4x dan 2x lipat lebih banyak dibandingkan dengan tanpa pupuk hayati.

Pembentukan bintil akar yang banyak memiliki konsekuensi logis berupa translokasi karbon yang lebih banyak ke akar karena jasad simbiosis memerlukan karbon dari tanaman inang untuk melakukan metabolismenya. Sebagai akibatnya penggunaan pupuk hayati menurunkan serapan N dan bobot biji yang ditunjukkan dengan lebih rendahnya rerata efektivitas serapan N dan bobot biji dibandingkan dengan tanpa pupuk hayati. Serapan N yang tinggi diperlukan untuk sintesis protein agar mutu biji kedelai terjaga. Tujuan akhir

budidaya kedelai ialah mendapatkan bobot biji yang tinggi sehingga perlakuan yang menghasilkan peningkatan bobot biji tertinggi tentu lebih diinginkan oleh petani. Berdasarkan pertimbangan tersebut maka terdapat tiga alternatif teknologi yang dapat direkomendasikan untuk budidaya kedelai galur baru 19BE, yaitu:

Tabel 13. Efektivitas pupuk hayati dan pupuk buatan terhadap jumlah bintil akar efektif, serapan N dan bobot biji per tanaman kedelai

Perlakuan		Efektivitas (%)			Rerata Efektivitas
Pupuk Hayati	Pupuk Buatan	$\Sigma$ bintil	Serapan N	Bobot biji	
Tanpa	50 kg Urea	688	51	36	258
	50 kg SP36	1225	91	78	465
	50 kg Urea+50 kg SP36	1050	32	59	380
	75 kg Urea+75 kg SP36	563	6	6	192
Rerata		881	45	45	
FPF + TER	Tanpa	538	-12	46	191
	50 kg Urea	900	56	-14	314
	50 kg SP36	813	-14	5	268
	50 kg Urea+50 kg SP36	1838	1	49	629
	75 kg Urea+75 kg SP36	1613	36	52	567
Rerata		1291	20	23	444
FPF + KLR	Tanpa	1213	58	45	438
	50 kg Urea	900	30	43	324
	50 kg SP36	1238	39	7	428
	50 kg Urea+50 kg SP36	838	67	55	320
	75 kg Urea+75 kg SP36	1150	99	40	430
Rerata		1031	59	36	375

1. Tidak perlu dilakukan inokulasi pupuk hayati namun harus dipupuk dengan 50 kg SP36 untuk mendapatkan peningkatan bobot biji per tanaman sebesar 78% dengan peningkatan serapan N yang cukup tinggi yaitu sebesar 91%. Prediksi bobot biji per hektar dengan perlakuan ini ialah 5.08 ton.
2. Jika menggunakan pupuk hayati FPF + TER maka harus dibarengi dengan pupuk buatan 75 kg Urea+75 kg SP36 untuk menghasilkan peningkatan bobot biji sebesar 52% dan serapan N sebesar 36%. Prediksi bobot biji per hektar dengan perlakuan ini ialah 4.33 ton.

3. Jika menggunakan pupuk hayati FPF + KLR maka tidak harus dibarengi dengan pupuk buatan untuk menghasilkan peningkatan bobot biji sebesar 45% dan serapan N sebesar 58%. Prediksi bobot biji per hektar dengan perlakuan ini ialah 4.12 ton.

Prediksi bobot biji yang dihasilkan pada penelitian ini lebih tinggi dibandingkan genotipe unggul yang dikembangkan di Bengkulu, yaitu Ijen, Seulawah, Burangrang, dan Anjasmoro yang memiliki tingkat hasil di lapangan masing-masing sebesar 1.52, 1.88, 1.84 dan 1.92 ton ha<sup>-1</sup>. Suryati *et al.* (2006) melaporkan galur 19BE yang ditanam di tanah Ultisol Bengkulu dan dipupuk dengan 23 kg ha<sup>-1</sup> N, 20 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, 50 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O dan kapur dengan dosis 2 x Al<sub>dd</sub> serta populasi 166000 tanaman per hektar masing-masing mampu menghasilkan bobot kering biji per tanaman sebesar 13.19 g atau setara dengan 2.2 ton ha<sup>-1</sup>. Bobot kering biji per tanaman pada penelitian tersebut jauh lebih rendah dibandingkan dengan bobot kering biji yang dihasilkan pada penelitian ini. Perbedaan jarak tanam yang lebih sempit atau populasi tanaman yang lebih tinggi menjadi salah satu penyebab rendahnya bobot kering biji pertanaman pada penelitian Suryati *et al.* (2006).

## BAB VI. SIMPULAN DAN SARAN

### 6.1 Simpulan

Genotipe baru kedelai 19BE merespon positif aplikasi pupuk hayati (kombinasi fungi pelarut fosfat dan *Rhizobium*) dan pupuk buatan. Ada tiga rekomendasi yang dapat diajukan sehubungan dengan budidaya galur 19BE yaitu :

1. Galur 19BE dapat dibudidayakan dengan tanpa menggunakan pupuk hayati namun harus dipupuk dengan 50 kg SP36 ha<sup>-1</sup> untuk mendapatkan peningkatan bobot biji per tanaman sebesar 78% dan serapan N sebesar 91%. Prediksi produktivitas kedelai dengan metode ini ialah 5.08 ton per hektar.
2. Galur 19BE dapat dibudidayakan dengan kombinasi pupuk hayati FPF + TER dan pupuk buatan 75 kg Urea + 75 kg SP36 ha<sup>-1</sup> untuk menghasilkan peningkatan bobot biji sebesar 52% dan serapan N sebesar 36%. Prediksi produktivitas kedelai dengan metode ini ialah 4.33 ton per hektar.
3. Galur 19BE dapat dibudidayakan dengan kombinasi pupuk hayati FPF + KLR tanpa pupuk buatan untuk menghasilkan peningkatan bobot biji sebesar 45% dan serapan N sebesar 58%. Prediksi produktivitas kedelai dengan metode ini ialah 4.12 ton per hektar.

### 6.2 Saran

Penentuan dosis pupuk kalium perlu dilakukan mengingat unsur ini bersifat mudah larut dan mudah hilang dari tanah mineral masam. Sebelum dimasyarakatkan maka perlu dilakukan uji multilokasi untuk mendapatkan kisaran dosis pemupukan N, P dan K yang tepat pada beberapa jenis tanah dan lingkungan pertumbuhan yang beragam.



## DAFTAR PUSTAKA

- Abd-Alla MH, Omar SA. 2001. Survival of rhizobia/bradyrhizobia and a rock-phosphate-solubilizing fungus *Aspergillus niger* on various carriers from some agro-industrial wastes and their effects on nodulation and growth of faba bean and soybean. *J Pl Nutr* 24:261-272.
- Abd-Alla MH. 1994. Use of organic phosphorus by *Rhizobium leguminosarum* biovar. *viceae* phosphatases. *Biol Fertil Soils* 18:216-218.
- AgriNews Online. 2008. Press Release Mentan Pada Panen Kedelai. <http://setjen.deptan.go.id/berita/detail.php?id=202&awal=0&page=&kunci=>. Diakses tanggal 22 Februari 2008.
- Bertham YH, Inorah E. 2006. Pemanfaatan cendawan mikoriza arbuskula dan *Rhizobium* untuk meningkatkan produktivitas kedelaidi tanah Ultisol. Laporan Hibah PHK A2. Jurusan Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu (tidak dipublikasikan).
- Bertham YH, Nusantara AD, Pujiwati H. 2009. Peningkatan produktivitas genotipe baru kedelai berbasis mekanisme adaptasi mendapatkan hara fosfor dari tanah Ultisol. Laporan Penelitian Hibah Kompetitif Sesuai Prioritas Nasional, DP2M Ditjen Dikti, Kementrian Pendidikan Nasional. Bengkulu: Lembaga Penelitian UNIB.
- Bertham YH. 2002. Potensi pupuk hayati dalam peningkatan produktivitas kacang tanah dan kedelai pada tanah seri kandanglimun Bengkulu. *JlPI* 4:18-26
- Bertham YH. 2006 Pemanfaatan CMA dan *Bradyrhizobium* pada tiga varietas kedelai pada Sistem Agroforestri di Ultisol. Bogor: Disertasi. Program Pascasarjana IPB.
- Biro Pusat Statistik. 2009. Statistik tanaman pangan Indonesia. [www.bps.go.id](http://www.bps.go.id). [Diakses tanggal 24 Februari 2009]
- Bishop ML, Chang AC, Lee RWK. 1994. Enzymatic mineralization of organic phosphorus in a volcanic soil in Chile. *Soil Sciences* 157:238-243.
- Caravaca F, Alguacil MM, Azcón R, Diaz G, Roldan A. 2004. Comparing the effectiveness of mycorrhizal inoculation and amendment with sugar beet, rock-phosphate and *Aspergillus niger* to enhance field performance of the leguminous shrub *Dorycnium pentaphyllum*L. *Appl Soil Ecol* 25:169-180.
- Daimon H, Nobuta K, Ohe M, Harada J, Nakayama Y. 2006. Tricalcium phosphate solubilization by root nodule bacteria of *Sesbania cannabina* and *Crotalaria juncea*. *Plant Prod Sci* 9:388-389
- Departemen Pertanian. 2008. Teknologi produksi kedelai: arah dan pendekatan pengembangan. *Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian* 30:5-6
- Deubel A, Merbach W. 2005. Influence of microorganisms on phosphorus bioavailability in soils. Hlm 177-191 di dalam: Buscot F, Varma A (ed.). *Microorganisms in Soils: Roles in Genesis and Functions*. Heidelberg: Springer Verlag.
- Evianti, Sulaiman. 2009. *Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk*. Edisi ke 2. Bogor: Balai Penelitian Tanah, Balai Besar Litbang Sumber Daya Lahan Pertanian, Balitbangtan, Deptan.

- Gadd GM. 1999. Fungal production of citric and oxalic acid: Importance in metal speciation, physiology and biogeochemical processes. *Adv Microbial Physiol* 41:47-92.
- Gerriets M. 1993. To build a better soybean. *Agr Res* 41 :5-11
- Goldstein AH. 1994. Involvement of the quinoprotein glucose dehydrogenase in the solubilization of exogenous phosphates by Gram-negative bacteria. Hlm 197-203 *di dalam*: Torriani-Gorini A, Yagil E, Silver S (ed.). *Phosphate in Microorganisms: Cellular and Molecular Biology*. Washington DC: ASM Press.
- Gomez KA, Gomez AA. 1984. *Statistical Procedures for Agricultural Research*. 2<sup>ed</sup>. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Hao X, Cho CM, Racz GJ, Chang C. 2002. Chemical retardation of phosphate diffusion in an acid soil as affected by liming. *Nutr Cycl Agroecosyst* 64:213-224.
- Hasanudin. 2002. Peningkatan kesuburan tanah dan hasil kedelai akibat inokulasi mikrobial pelarut fosfat dan *Azotobacter* pada Ultisol Bengkulu. *JIPI* 4:97-103
- Illmer P, Schinner F. 1992. Solubilization of inorganic phosphate by microorganisms isolated from forest soils. *Soil Biol Biochem* 24:389-395.
- Khan MS, Zaidi A, Wani PA. 2007. Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture – A review. *Agron Sustain Dev* 27:29-43.
- Mezuan, Handayani IP, Inorih E. 2002. Penerapan formulasi pupuk hayati untuk budidaya padi gogo : Studi rumah kaca. *JIPI* 4:27-34
- Mitchell DB, Vogel K, Weimann BJ, Pasamontes L, van Loon APGM. 1997. The phytase subfamily of histidine acid phosphatases: isolation of genes for two novel phytases from the fungi *Aspergillus terreus* and *Myceliophthora thermophila*. *Microbiology* 143:245-252.
- Narsian V, Patel HH. 2000. *Aspergillus aculeatus* as rock phosphate solubilizers. *Soil Biol Biochem* 32: 559-565.
- Narula N, Kumar V, Behl RK, Deubel A, Gransee A, Merbach W. 2000. Effect of P-solubilizing *Azotobacter chroococcum* on N, P, K uptake in P-responsive wheat genotypes grown under greenhouse conditions. *J Plant Nutr Soil Sci*. 163:393-398.
- Nusantara AD, Bertham YH, Widiyono H. 2009. Inovasi Inokulasi *Rhizobium* dan Fungi Pelarut Fosfat Spesifik Dengan *Seed Coating Technology* Untuk Meningkatkan Hasil Kedelai di Ultisol. Laporan Penelitian Hibah Bersaing Tahun Anggaran 2009. Bengkulu: Lembaga Penelitian Universitas Bengkulu.
- Oberson A, Friesen DK, Rao IM, Bühler S, Frossard E. 2001. Phosphorus transformations in an Oxisol under contrasting land-use systems: The role of the microbial biomass. *Plant Soil* 237: 197-210.
- Oliveira CA, Alves VMC, Marriel IE, Gomes EA, Scotti MR, Carneiro NP, Guimarães CT, Schaffert RE, Sá NMH. 2009. Phosphate solubilizing microorganisms isolated from rhizosphere of maize cultivated in an Oxisol of the Brazilian Cerrado Biome. *Soil Biol Biochem* 41:1782-1787
- Ozanne PG. 1980. Phosphate nutrition of plants - A general treatise. Hlm 559-590 *di dalam*: Khasawneh F.H., Sample EC, Kamprath EJ. (ed.). *The Role of Phosphorus in Agriculture*. Madison, Wisconsin USA: Am. Soc. Agronomy.

- Peix A, Rivas-Boyer AA, Mateos PF, Rodriguez-Barrueco C, Martinez-Molina E, Velazquez A. 2001. Growth promotion of chickpea and barley by a phosphate solubilizing strain of *Mesorhizobium mediterraneum* under growth chamber conditions. *Soil Biol Biochem* 33: 103–110
- Reyes I, Bernier L, Antoun H. 2002. Rock phosphate solubilization and colonization of maize rhizosphere by wild and genetically modified strains of *Penicillium rugulosum*. *Microbial Ecol* 44:39–48.
- Richardson AE, George TS, Hens H, Simpson RJ. 2005. Utilization of soil organic phosphorus by higher plants. Hlm 165–184 *di dalam*: Turner BL, Frossard E, Baldwin DS. (eds). *Organic Phosphorus in the Environment*. Wallingford, Oxford: CABI Publishing.
- Richardson AE. 1994. Soil microorganisms and phosphorus availability. Hlm 50–62 *di dalam*: Pankhurst CE, Doube BM, Gupta VVSR, Grace PR (ed) *Soil Biota Management in Sustainable Farming System*. Melbourne: CSIRO Australia.
- Richardson AE. 2001. Prospects for using soil microorganisms to improve the acquisition of phosphorus by plants. *Austr J Pl Physiol* 28:897–906.
- Sanyal SK, DeDatta SK. 1991. Chemistry of phosphorus transformations in soil. *Adv Soil Sci* 16:1–20.
- Saraswati R, Sunarlim N, Hutami S, Hastuti RD, Simanungkalit RDM, Goenadi DH, Indarto S, Damardjati DS. 1999. Pengembangan Bio-fosfat untuk meningkatkan efisiensi pemupukan P di lahan masam Al. Laporan Akhir Hasil ARMP II-Kemitraan, Balai Penelitian Bioteknologi Tanaman Pangan, Bogor.
- Seshadri S, Ignacimuthu S, Lakshminarasimhan C. 2004. Effect of nitrogen and carbon sources on the inorganic phosphate solubilization by different *Aspergillus niger* strains. *Chem Eng Commun* 191:1043–1052.
- Sharma AK, Johri BN. 2002. *Arbuscular Mycorrhizae: Interactions in Plants, Rhizosphere and Soils*. Plymouth UK: Science Publ. Inc.
- Simanungkalit RDM. 2001. Aplikasi pupuk hayati dan pupuk kimia: suatu pendekatan terpadu. *Buletin AgroBio* 4(2):56–61
- Sridevi M, Mallaiah KV. 2009. Phosphate solubilization by *Rhizobium* strains. *Indian J Microbiol* 49:98–102
- Suryati D, Chozin M. 2007. Analisis stabilitas galur-galur harapan kedelai keturunan dari persilangan Malabar dan Kipas Putih. *J Akta Agrosia* Edisi Khusus No. 2:176–180.
- Suryati D, Hartini D, Sugianto, Minarti D. 2006. Penampilan lima galur harapan kedelai dan kedua tetuanya di tiga lokasi dengan jenis tanah berbeda. *J Akta Agrosia* 9:7–11
- Suryati D, Munawar A, Hasanudin, Ganefianti DW, Apriyanto D. 1999. Perakitan varietas kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) yang efisien menyerap hara P : Pewarisan sifat efisien hara P (Penelitian tahap III). Bengkulu: Lembaga Penelitian UNIB, Bengkulu.
- Swastika DKS. 2005. The frontier of soybean development policy. *Analisis Kebijakan Pertanian* 3:133–140
- Vassilev N, Toro M, Vassileva M, Azcón R, Barea JM. 1997. Rock phosphate solubilization by immobilized cells of *Enterobacter* sp. in fermentation and soil conditions. *Biores Technol* 61:29–32.

- Wakelin SA, Warren RA, Harvey PR, Ryder MH. 2004. Phosphate solubilization by *Penicillium* sp. closely associated with wheat roots. *Biol Fertil Soils* 40:36-43.
- Yadav KS, Dadarwal KR. 1997. Phosphate solubilization and mobilization through soil microorganisms. Hlm 293-300 *di dalam*: Dadarwal KR (ed.). *Biotechnological Approaches in Soil Microorganisms for Sustainable Crop Production*. Jodhpur, India: Scientific Publishers.
- Yadav RS, Tarafdar JC. 2003. Phytase and phosphatase producing fungi in arid and semi-arid soils and their efficiency in hydrolyzing different organic P compounds. *Soil Biol Biochem* 35:1-7.

LAMPIRAN